

( 続紙 1 )

|   |   |    |      |
|---|---|----|------|
| 京都大学  | 博士 ( 農 学 )  | 氏名 | 竹重龍一 |
| 論文題目  | Resilience of Bornean logged-over lowland tropical rainforests in terms of above-ground biomass recovery<br>(地上部バイオマス回復からみたボルネオ伐採後低地熱帯降雨林のレジリエンス) |    |      |
| (論文内容の要旨)   |   |    |      |
| <p>人為攪乱後の低地熱帯降雨林は、二次遷移に伴い数十年で地上部バイオマスが回復するため、比較的高いレジリエンスを持つと報告されてきた。しかし、伐採後数十年が経過したボルネオ低地熱帯降雨林の一部では、シダ・ツルが繁茂し、回復が停滞する現象が観察されていた。本研究では、地上調査と衛星画像解析を組み合わせ、シダ・ツルに被覆された伐採後二次林のレジリエンスを樹木地上部バイオマス回復の観点から解析した。</p> <p>第1章では、農業や林業の土地利用によって人為改変を受けた世界の熱帯二次林の回復速度（レジリエンス）について文献調査を行った。レジリエンスの指標として、二次遷移の際の地上部バイオマス増加速度に着目した。増加速度には気候、土壌、地形、周辺の森林の状況、攪乱履歴などに応じて大きな空間変異があることが明らかになった。しかし、二次遷移初期の植生のシダ・ツル被覆率と地上部バイオマス増加速度の関係について調べた研究は、1例を除き、無かった。また、先行研究の多くが、耕作放棄後の二次林、あるいは小・中規模の択伐（選択的な伐採）後の二次林を対象にしており、非常に強い伐採攪乱を受けた二次林の回復速度の知見が不足していることが明らかになった。それらを踏まえ、強度の択伐の影響を受けた伐採後低地熱帯降雨林の森林回復速度について、定量的解析が必要であることを指摘した。</p> <p>第2章では、北ボルネオ（マレーシア・サバ州）の木材生産林において地上調査を行った。シダ・ツルの被覆率が様々に異なる伐採後二次林17プロットにおいて、シダ・ツル被覆率と2014～2019年の地上部バイオマス増加速度の関係を調べた。シダ・ツル被覆率が高いほど、残存木の成長率と新規加入個体数が低く、さらに残存木の死亡率が高かった。その結果、地上部バイオマス増加速度の絶対値・相対値とも、シダ・ツル被覆率が高いほど減少した。特に相対増加速度は、初期の地上バイオマスが低く、シダ・ツル被覆率が74%を越えると、負の値を取った。これらの結果より、地上部バイオマス増加速度はシダ・ツル被覆率に応じて低下し、場合によっては停滞することが示唆された。</p> <p>第3章では、衛星リモートセンシングを用いて、同じ試験地の択伐後二次林景観において、シダ・ツルに被覆された森林の空間分布を広域に調べた。まず、二次林</p> |   |    |      |

景観をドローンで撮影した画像から3つの植生クラス（シダ被覆植生、ツル被覆植生、シダ・ツル非被覆植生）を目視で判読し、Landsat-8衛星で観測された地表面反射率、地表面反射率から計算される植生指数及びテクスチャー情報、Sentinel-1衛星で観測された地表面の後方散乱係数を説明変数として、3クラスの植生を分類する機械学習モデルを作成した。機械学習モデルは87%の全体精度を示し、二次林景観内において高い精度でシダ・ツルに被覆された植生を分類することが可能であることが分かった。次いで、モデルを2019年のLandsat衛星画像に外挿し、植生図を作製した。シダかツルに被覆された森林は、対象地域の31%の面積を占めた。

第4章では、1988～2019年に撮影されたLandsat衛星画像の時系列解析を用いて、第3章で作製した植生図の3つの植生クラスの伐採履歴を調べた。各植生クラスに含まれる画素にLandTrendrアルゴリズムを適用し、地上部バイオマスの指標となる植生指数の時系列変動を画素毎に解析した。植生指数の急激な低下を伐採イベントの発生、植生指数の低下率を伐採率の指標とみなすことで、画素毎の伐採履歴が明らかとなった。この結果、現在、シダやツルに被覆されている植生クラスでは、被覆されていない植生クラスよりも、直近の伐採が加わる前の地上部バイオマスが低く、さらに直近の伐採イベントでの伐採率が大きかった。試験地では、1970年代から択伐が繰り返されたことが分かっている。これらのことから、現在シダやツルに被覆されている植生は、森林回復が十分に進まない状態で、強度の伐採が繰り返されて成立したことが示唆された。一方、シダやツルに被覆されていない伐採後二次林は、より軽度の択伐で維持されていることが示された。

第5章では、第2章から4章までの結果を基にボルネオ島のシダ・ツルに被覆された伐採後低地熱帯降雨林のレジリエンスについて総合的に考察した。ボルネオ島の木材生産林では、過去の伐採履歴に応じて、現在、シダやツルに被覆された二次林と被覆されていない二次林がモザイク状に成立していた。伐採後二次林の地上部バイオマス回復速度は、シダやツルのような更新を阻害する植生の被覆率が高まると低下し、条件次第では停滞する、と結論付けた。本研究で開発したアルゴリズムから得られる植生図により、レジリエンスの空間変異を評価でき、伐採後低地熱帯降雨林の持続的な管理指針の作成が可能であることを指摘した。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

人為攪乱後の低地熱帯降雨林は、二次遷移に伴い数十年で地上部バイオマスが回復するため、比較的高いレジリエンスを持つと報告されてきた。しかし、強度の伐採を受けた伐採後低地熱帯降雨林のレジリエンスについては、定量的に明らかにされていなかった。本研究では、森林回復の阻害要因として、二次遷移初期のシダ・ツル植生の被覆率に着目し、北ボルネオ（マレーシア・サバ州）の木材生産林において伐採後低地熱帯降雨林の地上部バイオマス回復速度を解明した。本研究の評価できる点は、以下の通りである。

1. 地上調査により、伐採後低地熱帯降雨林の地上部バイオマス増加速度はシダ・ツルの被覆により低下することを解明した。特に地上部バイオマスの相対増加速度は、二次遷移初期の地上バイオマスが低く、シダ・ツル被覆率がある閾値を越えると、停滞することを示した。
2. 衛星リモートセンシングと機械学習の組み合わせにより、地上調査が困難な低地熱帯降雨林地帯において、広域にわたる地表植生をシダ・ツル被覆率に基づいて分類するアルゴリズムを開発した。また、この手法を北ボルネオの試験地に適用し、森林回復が停滞している可能性がある、シダ・ツルに被覆された伐採後低地熱帯降雨林が広範に成立していることを明らかにした。
3. 衛星画像の時系列解析を用いて、画素毎に森林伐採履歴を明らかにするアルゴリズムを開発した。この手法を北ボルネオの試験地に適用し、シダ・ツルに被覆された伐採後低地熱帯降雨林は強度の伐採を繰り返し受けて成立したことを解明した。

以上のように、本論文は、低地熱帯降雨林の伐採後の地上部バイオマス回復速度を二次遷移初期の植生状態との関係から明らかにするとともに、伐採後の低地熱帯降雨林の植生分類や伐採履歴を解析する手法を開発したものであり、森林生態学、熱帯林環境学、生態系生態学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和5年2月10日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリ

に掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降（学位授与日から3ヶ月以内）